



**XX SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
GDS.YY
22 a 25 Novembro de 2009
Recife - PE

GRUPO X

GRUPO DE ESTUDOS DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS – GDS

ESTUDO COMPARATIVO DA RESPOSTA DINÂMICA DOS MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS QUANDO SUBMETIDOS A AFUNDAMENTOS DE TENSÃO NO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA

**Daniel Barbosa, Gerson Bessa Gibelli, Ulisses Chemin Netto, Mário Oleskovicz, Denis V. Coury
Universidade de São Paulo**

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo comparativo da resposta dinâmica dos motores de indução trifásicos (MIT) frente aos afundamentos de tensão comumente observados no sistema elétrico de potência (SEP). Buscou-se pela pesquisa avaliar a suportabilidade e desempenho da operação do MIT quando submetido a estes distúrbios de energia em diferentes pontos do SEP analisado. O procedimento adotado foi o de gerar situações de operação próximas as encontradas em campo sobre o SEP que pudessem vir a comprometer a alimentação dos dois motores analisados e, conseqüentemente, seu desempenho. Pelos resultados observados, evidencia-se que a metodologia de análise aplicada é altamente viável e condizente com o encontrado em situações reais de operação dos motores de indução trifásicos.

PALAVRAS-CHAVE – Qualidade da Energia Elétrica; Afundamento de Tensão, Motor de Indução Trifásico e ATP.

1.0 - INTRODUÇÃO

Atualmente, estudos voltados à Qualidade da Energia Elétrica (QEE) estão concentrados na evolução tecnológica das cargas industriais e em seus consumidores, sendo estes mais exigentes do ponto de vista da continuidade e da qualidade do serviço fornecido. Apesar do conhecimento sobre os problemas relacionados à QEE nos diversos setores da economia, enfatiza-se a utilização de equipamentos sensíveis decorrentes principalmente da aplicação da eletrônica de potência nos controles e processos automatizados visando ao aumento da produtividade industrial. Desta forma, observa-se o crescente aumento das cargas não lineares e chaveadas eletronicamente nas áreas da automação industrial, as quais possuem diversos equipamentos sensíveis aos afundamentos de tensão, como, por exemplo, controladores lógicos programáveis (CLP), acionamentos com velocidade variável (ASD – *Adjustable Speed Drives*) e motores de indução, etc. Destes equipamentos, destaca-se os motores de indução, sendo o foco desta pesquisa por desempenharem um papel essencial no setor industrial (1), (3).

Como fato, tem-se que no Brasil, 23% de toda energia elétrica produzida é consumida através dos motores de indução trifásicos (MIT) (4). Por esta percentagem, verifica-se então a necessidade de um estudo dos impactos dos afundamentos de tensão nestes equipamentos, principalmente quando considerado os custos de manutenção e econômicos associados às perdas com paradas não programadas de uma linha de produção devido a falhas no sistema de alimentação dos MITs.

Dentre os fenômenos relacionados à QEE, tem-se que os afundamentos de tensão representam cerca de 90% das causas dos problemas observados sobre os sistemas elétricos de potência (SEP). Estes são usualmente decorrentes de situações de faltas, como por exemplo, curtos-circuitos nos sistemas de transmissão e/ou distribuição de energia elétrica. Vale ressaltar que tais sistemas estão constantemente expostos a adversidades externas como descargas atmosféricas, acidentes, falhas de equipamentos, etc (3), (5-6).

No contexto apresentado, ressalta-se que a intensidade dos afundamentos de tensão sobre um determinado ponto do sistema, pode exceder os limites de sensibilidade aceitável pelos MITs. Dependendo dos ajustes do dispositivo de proteção, as correntes provocarão a parada do motor por curto-circuito ou retirada de serviço pela proteção de rotor bloqueado. Vale frisar que tais incidentes podem ser evitados ou minimizados, simplesmente pelos ajustes dos parâmetros do dispositivo de proteção do MIT (6).

(*) Av. Trabalhador São-carlense, 400 – CEP 13566-590 – LSEE – SEL – EESC – USP – São Carlos – SP – Brasil
Tel: (+55 16) 3373-8147 – Email: ggibell@sel.eesc.usp.br

Baseado nos motivos supracitados, esta pesquisa preocupa-se em investigar a resposta dos motores de indução trifásicos (gaiola de esquilo) frente a afundamentos de tensão. Adianta-se que as situações representativas caracterizando certos níveis de afundamentos foram geradas a partir da aplicação de faltas nos sistemas de transmissão e de distribuição simulados, a fim de verificar as mais variadas possibilidades, como será devidamente reportado neste documento.

2.0 - IMPACTO DOS AFUNDAMENTOS DE TENSÃO SOBRE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

Os afundamentos de tensão produzem vários efeitos nocivos ao funcionamento do motor de indução, desde a diminuição de velocidade até a perda de vida útil. Alguns dos fatores correlacionados entre “afundamentos de tensão” e os “motores de indução” são descritos abaixo (6-8).

2.1 - Afundamentos de tensão provocados por situações de faltas sobre o sistema e pela recuperação da tensão

Os afundamentos de tensão são causados principalmente por situações de faltas evidenciadas sobre o SEP, sejam estas ao nível de transmissão ou de distribuição. A gravidade e característica do afundamento dependem da localização, do tipo, da duração do defeito e da configuração do SEP faltoso. Na ocorrência de uma falta severa em um dos alimentadores do MIT, este, juntamente com suas cargas, pode ter seu funcionamento prejudicado ou até mesmo sair de operação. Após a eliminação da falta, a tensão no barramento é recuperada e o MIT volta a sua velocidade nominal. Todavia, ao partir o motor novamente, uma corrente de re-aceleração será produzida, podendo comprometer o desempenho do mesmo, além de proporcionar flutuações de tensão no sistema como um todo.

2.2 - Perdas de velocidade no MIT

Sendo consideradas somente as características do motor de indução em regime permanente e a ocorrência de um afundamento de tensão no seu barramento de alimentação, verifica-se a redução do torque proporcional ao nível quadrático de tensão aplicado, além do aumento no escorregamento do motor devido ao acréscimo de corrente no mesmo (7), (8). Outro ponto importante é o conhecimento do tipo de carga, já que deste, será possível uma prévia análise do impacto do distúrbio no processo. Por exemplo, cargas de baixa inércia, com torque constante, desaceleram rapidamente perdendo a continuidade da saída. Tomando-se como ilustração uma esteira de forno industrial, com controle de temperatura e tempo para o tratamento térmico de peças de aço, o MIT desacelera rapidamente frente a um distúrbio ocorrido, propiciando a parada do motor e resultando na paralisação da esteira, prejudicando as peças de todo o processo.

No entanto, se a carga conectada ao motor apresenta alta inércia, com torque variável em função da velocidade, esta deverá suportar um valor limitado de retardamento, devendo ser capaz de reacelerar na recuperação da tensão. Como exemplo, tem-se um compressor utilizado em um pólo petroquímico que desacelera lentamente podendo manter o processo em operação sem a parada do motor, sendo capaz de reacelerar na recuperação de tensão (7), (8). Vale salientar que as informações sobre o comportamento das cargas em condições normais de operação podem ser completamente diferentes àquelas observadas em situações transitórias, o que possibilitará a manifestação de efeitos não esperados.

2.3 - Reaceleração do motor

As características de reaceleração do MIT, após a mitigação do afundamento observado, dependerão da variação de velocidade e da amplitude da tensão de recuperação. A corrente do motor de indução no período de reaceleração é função da sua característica de velocidade e da sua corrente de partida, sendo esta um fator limitante na determinação do tempo de recuperação do nível de tensão. É importante observar que se o afundamento ocorrer em uma planta industrial com vários motores de indução, o tempo de retorno dos níveis normais de operação pode ser prejudicado, uma vez que estes irão acelerar paralelamente, provocando severas flutuações no SEP.

2.4 - Características dos transitórios

Embora a duração dos fenômenos subtransitórios e transitórios provocados por afundamentos sejam de curtíssima duração nos motores de indução, estes interferem no fluxo magnético, o que proporciona um curto-circuito trifásico nestes equipamentos e a redução repentina da energia reativa proveniente do sistema de alimentação (7), (8). As evidências de transitórios nos MITs provocarão o decaimento rápido do torque, assim como a manifestação de picos de correntes semelhantes aos encontrados nas situações de curto-circuitos, ocasionando o desgaste excessivo do isolamento, do eixo conectado à carga e da base do motor. Entretanto, apesar de tais problemas, verifica-se que os transitórios usuais provocados pela partida do motor são mais severos que os associados aos afundamentos e as restaurações da tensão, quando assumido partida direta no equipamento em análise (7).

3.0 - O SISTEMA ELÉTRICO ANALISADO

A Figura 1 mostra a representação do sistema elétrico utilizado nas simulações de manobras de cargas e de situações de faltas aplicadas para avaliar a resposta dinâmica dos motores de indução trifásicos frente aos afundamentos de tensão na rede de alimentação (9).

O sistema elétrico é composto por um gerador síncrono de 13,8kV e potência aparente de 76MVA, dois motores de indução trifásicos de 4,0kV com potências de 1582HP e 1100HP, transformadores elevadores com relações de 13,8/138kV e potência aparente de 25MVA, linhas de transmissão com extensões variando entre 80 e 150km, uma linha de distribuição com 10km, um religador, transformadores abaixadores similares aos elevadores e cargas caracterizadas por um fator de potência de 0,92 indutivo e potência aparente variando entre 5 e 25 MVA. Os diversos componentes foram simulados computacionalmente dispondo do *software* ATP- *Alternative Transients Program* (10). Cabe colocar que na figura está somente indicado o ponto de conexão dos motores citados. Estes serão conectados ao sistema de forma independente e exclusiva mediante a situação desejada para a análise.

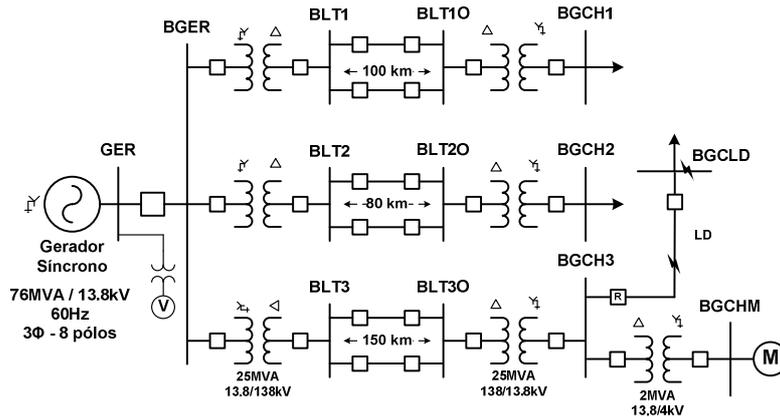


FIGURA 1. Representação do SEP analisado dispondo do *software* ATP.

Na Tabela 1, apresentam-se os dados do gerador síncrono utilizado na implementação do SEP. Nesta, S é a potência nominal, N_p é o número de pólos, V_L é a tensão nominal de linha, f é a frequência, IFD é a corrente de campo, R_a é a resistência de armadura, X_i é a reatância de dispersão não saturada, X_o é a reatância de seqüência zero não saturada, X_d é a reatância síncrona de eixo direto não saturada, X_q é a reatância síncrona de eixo em quadratura não saturada, X'_d é a reatância transitória de eixo direto não saturada, X''_d é a reatância subtransitória de eixo direto não saturada, X''_q é a reatância subtransitória de eixo em quadratura não saturada, τ'_{do} é a constante de tempo transitória em vazio de eixo direto, τ''_{do} é a constante de tempo subtransitória em vazio de eixo direto e τ''_{qo} é a constante de tempo subtransitória em vazio de eixo em quadratura.

TABELA 1
Dados do gerador síncrono utilizado na simulação.

Descrição	Valor (un)	Descrição	Valor (un)
S	76 (MVA)	N_p	8
V_L	13,8 (kV _{rms})	f	60 (Hz)
IFD	250 (A)	R_a	0,004 (pu)
X_i	0,175 (pu)	X_o	0,132 (pu)
X_d	1,150 (pu)	X_q	0,685 (pu)
X'_d	0,310 (pu)	X''_d	0,210 (pu)
X''_q	0,182 (pu)	τ'_{do}	5,585 (seg.)
τ'_{do}	0,036 (seg.)	τ''_{qo}	0,073 (seg.)

É importante salientar que foi utilizado o modelo de linha de transmissão *JMARTI* vinculado ao *software* ATP, uma vez que este permite a variação dos parâmetros da linha em função da frequência, possibilitando uma melhor representação do comportamento do sistema frente às perturbações provenientes de desequilíbrios entre geração e carga.

Cabe ressaltar que o gerador síncrono foi caracterizado por uma conexão estrela aterrado, sendo o modelo utilizado via ATP o de uma máquina dinâmica síncrona trifásica, já que este considera os diversos parâmetros elétricos e mecânicos do gerador. Além do gerador, foi aplicado o controle de velocidade dinâmico para sistemas hidráulicos (11) e o controle automático de tensão (AVR) (12, 13) que permitem uma melhor análise dos resultados. A equação 1 mostra a função de transferência do regulador de velocidade utilizado.

$$\frac{\eta(s)}{\Delta F(s)} = -\frac{1}{R} \cdot \frac{1+sT_r}{(1+sT_g)\left(1+s\frac{r}{R}T_r\right)} \quad (1)$$

Nesta, $\eta(s)$ é a posição do servo motor que aciona a turbina, $\Delta F(s)$ é o desvio de frequência, R é o estatismo permanente, r é o estatismo transitório, T_g é a constante de tempo do regulador de velocidade e T_r é a constante associada ao estatismo transitório. A Tabela 2 apresenta os valores dos parâmetros utilizados no regulador de velocidade.

TABELA 2
Parâmetros do regulador de velocidade.

Descrição	Valor (un)
Constante de Tempo (T_g)	0,600 (seg.)
Constante de Tempo Dashpot (T_r)	0,838 (seg.)
Estatismo Transitório (r)	0,279
Estatismo Permanente (R)	0,100
Constante de Inércia do Gerador (M)	1,344 (seg.)
Constante de Tempo da Água (T_w)	0,150 (seg.)

O sistema de controle da excitatriz e o ajuste automático da corrente de campo do gerador síncrono são condições básicas para que as tensões nos terminais de saída sejam mantidas constantes, independentemente da variação da capacidade do gerador. Do ponto de vista do SEP, o sistema da excitatriz deve contribuir efetivamente no controle de tensão (14). A FIGURA 2 ilustra o diagrama de blocos do controle de tensão utilizado.

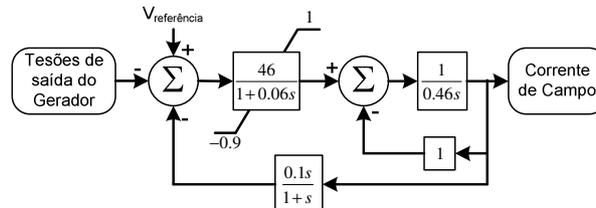


FIGURA 2. Diagrama de blocos do controle de tensão utilizado.

Utilizando o modelo de máquina universal do ATP, os motores de indução trifásicos foram modelados com parâmetros reais, no qual diversas características elétricas e mecânicas foram consideradas, conforme as apresentadas nas tabelas 3 e 4.

TABELA 3
Dados do motor 1 utilizado.

Descrição	Valor (un)
Tensão Nominal (V_L)	4 (kV)
Potência Nominal (S)	1582 (HP)
Velocidade Nominal (n)	1788 (RPM)
Rendimento Nominal (η)	94,8 (%)
Fator de Potência (fp)	0,91
Torque Nominal (T)	6297 (Nm)
Momento de Inércia do Rotor (GD^2)	167 (kgfm ²)
Tempo de rotor bloqueado (t_{block})	20 (seg)

TABELA 4
Dados do motor 2 utilizado.

Descrição	Valor (un)
Tensão Nominal (V_L)	4,16 (kV)
Potência Nominal (S)	1100 (HP)
Velocidade Nominal (n)	3573 (RPM)
Rendimento Nominal (η)	95,4 (%)
Fator de Potência (fp)	0,90
Torque Nominal (T)	2194 (Nm)
Momento de Inércia do Rotor (GD^2)	36,44 (kgfm ²)
Tempo de rotor bloqueado (t_{block})	13 (seg)

As Tabelas 5 e 6 ilustram os dados dos compressores conectados aos motores de indução utilizados.

TABELA 5
Dados do compressor do motor M1.

Descrição	Valor (un)
Torque Nominal (T_N)	5675 (Nm)
Momento de Inércia do Compressor (GD^2)	828 (kgfm ²)

TABELA 6
Dados do compressor do motor M2.

Descrição	Valor (un)
Torque Nominal (T_N)	1977 (Nm)
Momento de Inércia do Compressor (GD^2)	137 (kgfm ²)

4.0 – A PROTEÇÃO DIGITAL APLICADA AO MOTOR

Das situações práticas, tem-se que o motor pode sofrer avarias térmicas devido à sobrecarga, parada por falha mecânica, erro de operação, partidas repetidas e correntes desbalanceadas. As avarias térmicas podem resultar

nas elevações de temperatura provocando problemas mecânicos por expansão térmica, por exemplo, nas barras e anéis de curto-circuito do rotor. As elevações de temperatura são causadas em função das perdas na resistência dos enrolamentos. Com isso, devido ao aumento dos níveis de corrente, são aplicados os elementos de proteção por sobrecorrente utilizando as características das curvas de corrente de tempo inverso. Contudo, a aplicação da proteção por sobrecorrente no motor se torna complexa devido às características térmicas do motor, pela variação da corrente no tempo durante a partida e pela dinâmica da carga. Sendo assim, devido a estas características, usualmente os fabricantes de motores levantam a curva de limite térmico dos mesmos, efetuando por esta, os ajustes dos dispositivos de proteção térmica associados. A Tabela 6 apresenta os dados de parametrização do relé de proteção para os motores de indução investigados. Cabe salientar que o estudo de proteção térmica do motor não faz parte do escopo deste trabalho (15), (16) e foi somente apresentado para caracterizar que a mesma está sendo considerada e que os resultados observados serão reportados oportunamente.

TABELA 6
Dados de parametrização do relé de proteção.

Descrição	Valor (un)	Tempo de atuação
Sobrecorrente de Fase	1181 (A)	0,1s
Tensão Reduzida para M1	3,2 (kV)	1,5s
Corrente de Rotor Travado para M1	480 (A)	1,0s
Tensão Reduzida para M2	3,3 (kV)	1,5s
Corrente de Rotor Travado para M2	372 (A)	1,0s

5.0 - RESULTADOS OBSERVADOS SOBRE OS MITS

Esta seção apresenta os resultados dos motores de indução trifásicos simulados sob algumas condições de operação do SEP. Vale frisar que conforme será reportado, algumas situações proporcionarão afundamentos nos terminais do equipamento, ocasionando perda de velocidade e desempenho do mesmo. Cabe salientar que os gráficos apresentados referentes ao torque estão espelhados em relação à abscissa, pois esta é uma característica do *software* utilizado.

a) Afundamento de tensão simétrico pela atuação do religador

Em sistemas de distribuição em 13,8kV é freqüente a utilização de religadores automáticos de tensão para o re-estabelecimento rápido do sistema em caso de defeitos. Para esta aplicação um religador automático foi alocado entre os barramentos BGCH3 e BGCLD da Figura 1. Desta forma, este teste tem o objetivo de verificar o comportamento dos dois motores (M1 e M2, Tabelas 3 e 4) sob a influência deste equipamento.

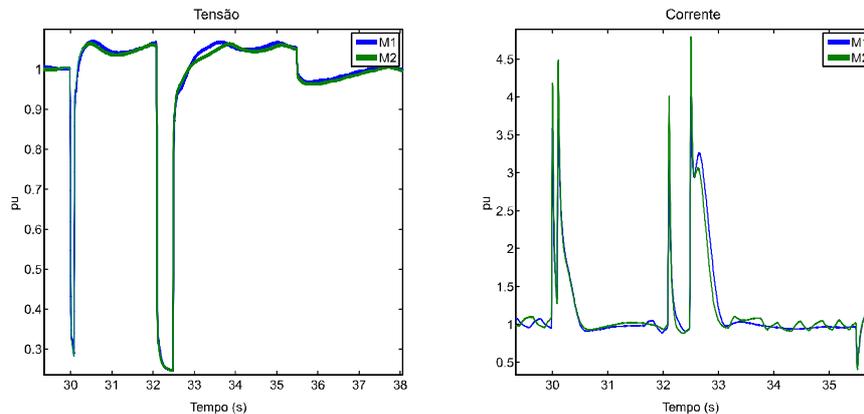


FIGURA 3. Variação da tensão e corrente dos motores frente à atuação do religador.

Cabe esclarecer que o afundamento de tensão (28% de tensão remanescente) foi ocasionada por uma falta trifásica no meio da linha de distribuição (LD, Figura 1) na qual está localizado o religador. Após 100 ms, o religador veio a tirar a falta e a isolar o trecho defeituoso. Este é religado novamente após 2 segundos. Com a persistência da falta, o dispositivo tornou a desenergizar a LD, religando-a 3 segundos após, conforme ilustra a FIGURA 4.

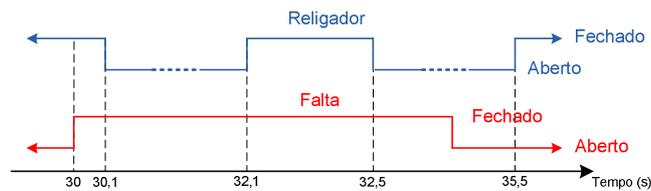


FIGURA 4. Gráfico de atuação do religador.

A FIGURA 5 mostra que a velocidade dos motores M1 e M2 caíram 1,4 e 4,3% durante a primeira e a segunda atuação do religador, respectivamente. É importante observar que após o restabelecimento do sistema à condição normal de operação, os motores demoraram 1,3 segundos para alcançar a velocidade nominal após o segundo afundamento experimentado. O percentual de diminuição da velocidade para o segundo ciclo de religamento se deve a maior permanência do defeito sobre a linha de distribuição LD.

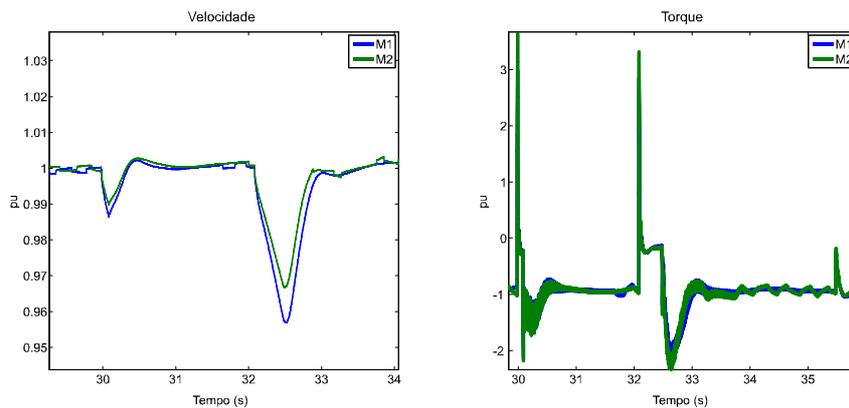


FIGURA 5. Velocidade e torque dos motores frente à atuação do religador.

Quanto ao torque nos motores M1 e M2, observou-se uma diminuição provocada pela queda de tensão nos terminais dos motores e, conseqüentemente, por uma diminuição da velocidade, uma vez que o escorregamento momentâneo do motor aumenta. Todavia, verificou-se a existência de múltiplos picos correspondentes a cada comando de fechamento do religador. Cabe salientar que tal situação assemelha-se a uma modificação no regime de trabalho da máquina, a qual estará sujeita a múltiplas partidas, provocando um possível e indesejado aquecimento. Desta forma, o sistema de proteção térmico do motor poderá atuar. Todavia, evidencia-se que o estudo de proteção térmica não faz parte do escopo deste trabalho.

É factível salientar que apesar das diferentes características dos motores, os resultados obtidos para esta condição operativa são equivalentes, demonstrando que motores simulados com o mesmo perfil de carga e sistema de alimentação estão sujeitos as mesmas variações de operação.

b) Afundamento de tensão decorrente de uma falta bifásica a terra (ABT) no barramento BGCLD

Neste caso, um afundamento de tensão provocado por uma falta bifásica a terra no barramento BGCLD no instante de 30 segundos, com uma duração de 100ms, devido à atuação dos disjuntores no final da linha de distribuição. Tal situação busca verificar o comportamento dos diferentes motores de indução em ocorrências de falhas no sistema de distribuição associado.

A figura 6 ilustra as variações de 10,2% e 3,3% da velocidade dos motores M1 e M2 para o afundamento evidenciado, respectivamente. Tal condição é observada novamente devido à diminuição do torque provocado pela queda de tensão nos terminais dos motores e, conseqüentemente, por uma diminuição da velocidade, uma vez que o escorregamento momentâneo dos motores aumenta. As diferenças relativas ao percentual de queda, bem como ao tempo de retomada da velocidade de regime permanente entre os motores se devem as singularidades construtivas de ambos, mas especificamente a quantidade de pares de pólos e ao momento de inércia a esses associados.

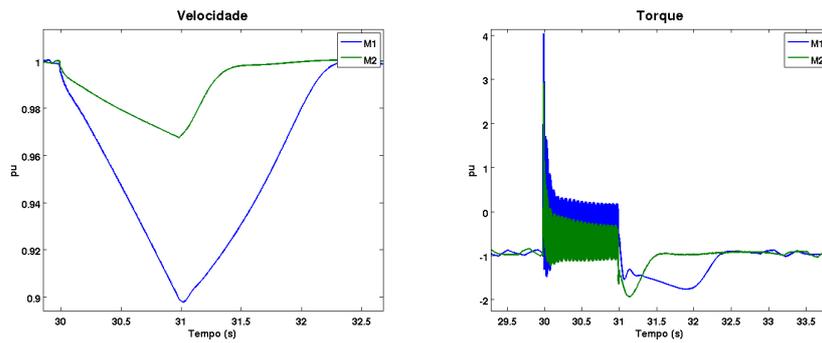


FIGURA 6. a) Variação das velocidades dos motores para uma falta ABT. b) Torque dos motores para uma falta ABT.

Todavia, é importante observar que mesmo com o aumento considerável da corrente absorvida da rede (aproximadamente 4 vezes para M1 e M2), o sistema de proteção dos motores poderá atuar para esta condição de operação, dependendo do esquema de proteção adotado.

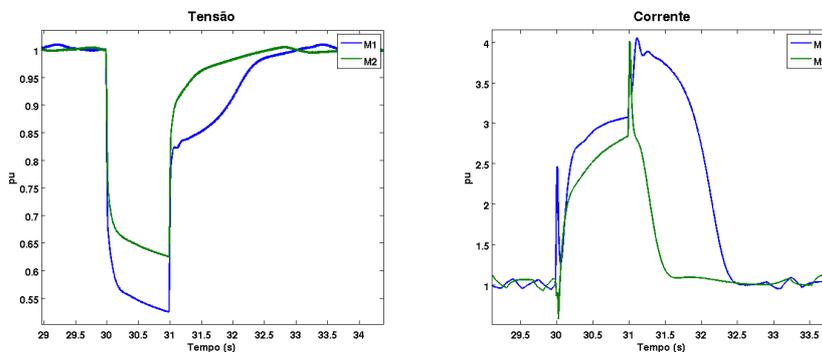


FIGURA 7. Variação da tensão e da corrente dos motores para uma falta ABT.

A figura 7 mostra os níveis de tensão e de corrente nos terminais de alimentação dos motores de indução, sendo evidenciado a severidade da falta bifásica. É factível observar que embora após a eliminação da falta, os MITs retornem para as condições normais de operação, estes apresentaram comportamentos bem distintos, mostrando que o motor M1 é mais susceptível ao evento analisado.

6.0 – CONCLUSÕES

O presente artigo apresenta um modelo de sistema elétrico gerado por simulações computacionais, dispondo do *software* ATP, para caracterizar a resposta dinâmica de dois diferentes motores de indução trifásico frente a afundamentos de tensão. O modelo permite a simulação de faltas no SEP, além de diversas manobras e distúrbios capazes de provocar afundamentos no sistema de alimentação dos motores e conseqüentes perdas de eficiência e desempenho.

Para a realização deste estudo foram consideradas as seguintes situações: faltas e o religamento de linhas de distribuição, caracterizando diversos modos de operação.

As respostas dos motores de indução trifásicos aos eventos submetidos mostraram que estes podem suportar a maioria dos afundamentos sem comprometer seu funcionamento, desde que a duração e a intensidade do fenômeno sejam moderadas. Desta forma, o grau dos danos devido ao afundamento no motor será determinado pela sensibilidade da carga às variações da velocidade.

Verifica-se ainda que motores com características construtivas diferentes, sob as mesmas condições operativas e com potências nominais próximas, apresentam comportamentos distintos frente aos fenômenos evidenciados. Porém, é válido enfatizar que ocorrências de afundamentos no sistema de distribuição associado, os motores estudados podem apresentar comportamentos bem diferenciados, já que as retomadas de velocidade e de torque dependem essencialmente de sua construção, bem como a extensão dos prováveis defeitos originados dessa.

Deve ser frisado que, apesar de suportarem as situações ilustradas, as variações da corrente proveniente dos afundamentos de tensão diminuem a vida útil dos motores e podem vir a comprometer o seu isolamento, devido à

repetitiva ocorrência de um determinado evento. Além destas situações indesejadas, os altos impulsos transitórios dos torques proveniente dos afundamentos de tensão podem resultar na avaria do eixo do motor de indução e de certos tipos de cargas acopladas.

7.0 – BIBLIOGRAFIA

- (1) B. D. Bonatto, E. H. Watanabe, E. A. Mertens Jr., H. W. Dommel, L. F. S. Dias, M. Aredes, S. Carneiro Jr., & S. Nosaki, “Eletrônica de Potência e Qualidade da Energia Elétrica: Pesquisas Cooperativas na Elektro, COPPE/UFRJ e UBC”, *I Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica*, Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília, 2001.
- (2) O. Delmont Filho, “Um algoritmo para detecção, localização e classificação de distúrbios na qualidade da energia elétrica utilizando a transformada wavelet”, Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 2007.
- (3) A. Bendre, D. Divan, W. Kranz & W. Brumsickle, “Equipment failures caused by power quality disturbances”, in *39th IAS Annual Meeting Industry Applications Conference Record of the 2004 IEEE*, 2004.
- (4) N. A. Júnior, & I. E. Chabu, “Motores de Alto Rendimento - Dimensionamento e Viabilidade Econômica”, *Revista Eletricidade Moderna*, vol. 336, pp. 109 – 129, 2002
- (5) R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, S. Santoso & H. W. Beaty, *Electrical power Systems Quality*, McGraw–Hill, New York, 2002.
- (6) A. Leiria, P. Nunes, A. Morched & M. T. C. de Barros, “Induction motor response to voltage dips”, *Electric Power Systems Research*, 76, 676 – 680, 2006.
- (7) J. C. Das, “Effects of momentary voltage dips on the operation of induction and synchronous Motors”, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 26(4), 711 – 718, 1990.
- (8) B. Kang, J. Kim, J. Moon, & S. Yun, “A Study of the impact of voltage sags and temporary interruptions on 3-phase induction Motors”, *ICEE Conference Proceedings*, Sapporo, Japan, 862—867, 2004.
- (9) D. Barbosa, “Estimação da frequência em sistemas elétricos de potência através de filtragem adaptativa”, Dissertação de Mestrado”, Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 2007.
- (10) ATP, Alternative Transients Program - Rule Book, Leuven EMTP Center (LEC), 1987.
- (11) X. Vieira Filho, Operação de Sistemas de Potência com Controle Automático de Geração, *Editora Campus Ltda*, Rio de Janeiro, 1984.
- (12) D. C. Lee, Ed, *IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies* (IEEE Std 421.5-1992), 1992.
- (13) I. Boldea, *Synchronous Generators*, CRC Press, Boca Raton, 2006.
- (14) P. Kundur, M. G., *Power system stability and control*, McGraw-Hill, New York, 1994.
- (15) R. Bulgarelli, “Proteção térmica de motores de indução trifásicos industriais”, 2006. 136 p. (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- (16) D. Reimert, “Protective Relaying for Power Generation Systems”, Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2006.
- (17) F. S. Rothe, “An Introduction to Power System Analysis”, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1953.

8.0 – DADOS BIOGRÁFICOS

Gerson Bessa Gibelli: Nascido em São Paulo, São Paulo em 1970. Mestrando (previsto 2009), Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade São Judas Tadeu no ano de 2002. Engenheiro Eletricista na empresa Tecumseh do Brasil Ltda, atuando em projetos de motores de indução monofásicos e proteção de motores para aplicação em compressores herméticos.

Daniel Barbosa: Nascido em Salvador, Bahia em 1981. Doutorando (previsto 2010) na USP, Mestrado em Engenharia elétrica na USP em 2007 e Graduação em Engenharia Elétrica na UFBA em 2005. Atua em ATP, proteção diferencial, filtro adaptativo, qualidade da energia elétrica e sistemas elétricos de potência.

Ulisses Chemin Netto: Nascido em Curitiba, Paraná em 1976. Doutorando (previsto 2012) na USP, Mestrado em Engenharia elétrica na USP em 2008 e Graduação em Engenharia Industrial Elétrica na UTFPR em 2003. Atua em proteção de sistemas elétricos de potência, qualidade da energia elétrica e processos de ensino/aprendizagem.

Mário Oleskovicz: Nascido em Canoinhas, em 1968. Doutorado e Mestrado na USP em 2001 e 1997 e Graduação em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC em 1995. Empresa: USP Atua como professor Doutor na Universidade de São Paulo em proteção digital de sistemas elétricos de potência, qualidade da energia elétrica, técnicas de inteligência artificial e transformadas Wavelet e de Fourier.

Denis Vinícius Coury: Nascido em Araxá, em 1960. Sabático na Cornell University- USA em 1999/2000, Ph.D. em *Electrical Engineering* na Bath University- UK 1992, Mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo 1987, graduação em Engenharia Eletrica pela Universidade Federal de Uberlândia 1983. Empresa: USP. Atua como professor Titular em proteção digital adaptativa, ferramentas inteligentes em sistemas elétricos de potência, localização de faltas em linhas de distribuição e transmissão, simulação computacional de sistemas faltosos e qualidade da energia elétrica.